

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-304634

(43)Date of publication of application : 22.11.1996

(51)Int.Cl. G02B 6/00  
 G02B 6/00  
 G02B 6/18  
 // C08F 20/12

(21)Application number : 07-114617

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 12.05.1995

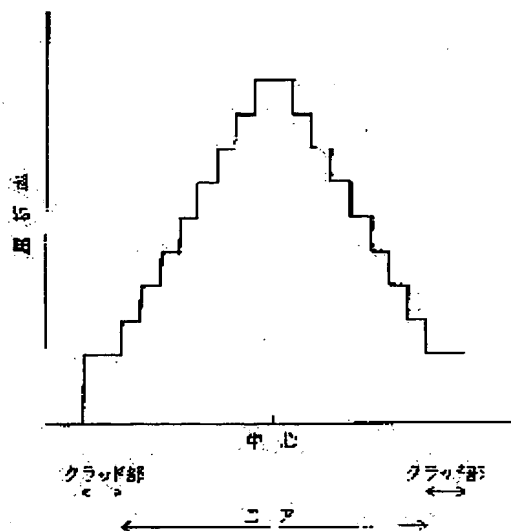
(72)Inventor : NONAKA TAKESHI  
 MATSUDA HIROO

## (54) PRODUCTION OF PLASTIC OPTICAL FIBER PREFORM AND PLASTIC OPTICAL FIBER

## (57)Abstract:

PURPOSE: To provide a plastic optical fiber which realizes a desired refractive index with low transmission loss.

CONSTITUTION: This plastic optical fiber consists of a fiber core and a clad part. The fiber core is formed by adhering surrounding plural resin layers having different refractive indices in the order of higher refractive index from the center axis to the outside in the radial direction, and has the refractive index distribution shows decrease from the center to the outside. The clad layer has a lower refractive index than the refractive index of the center part of the core. Each resin layer of the core consists of one kinds of homopolymers different from each others. The monomer of each homopolymer which constitutes the respective resin layer of the core may be such a polymerizable compd. that hydrogen atoms are replaced by other atoms or functional groups to decrease the proportion of carbon-hydrogen (C-H) bonds in the molecule, with atoms or functional groups for hydrogen.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-304634

(43)公開日 平成8年(1996)11月22日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/00	3 6 6		G 0 2 B 6/00	3 6 6
	3 9 1			3 9 1
6/18			6/18	
// C 0 8 F 20/12	M L Y	8619-4 J	C 0 8 F 20/12	M L Y

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平7-114617

(22)出願日 平成7年(1995)5月12日

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72)発明者 野中 毅

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 松田 裕男

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

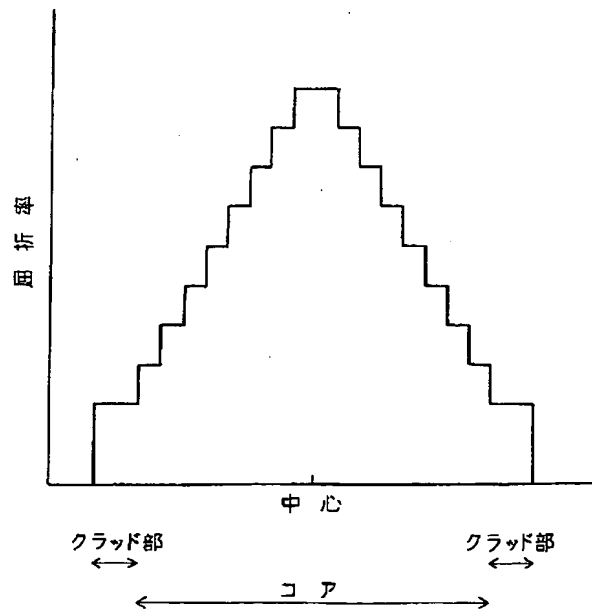
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54)【発明の名称】 プラスチック光ファイバ母材の製造方法及びプラスチック光ファイバ

(57)【要約】

【目的】 所望の屈折率を実現し、伝送損失の低いプラスチック光ファイバを提供することを目的とする。

【構成】 本発明のプラスチック光ファイバは、異なる屈折率を有する複数の樹脂層が中心軸から半径方向外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成されている、中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するファイバ状のコアと、コアの外側に被覆され、コアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とから成り、コアの各樹脂層が、それぞれ異なる1種類ホモポリマーから成る樹脂で形成されていることを特徴とする。コアの各樹脂層を成す各ホモポリマーの各モノマーが、水素を原子又は官能基で置換して炭素-水素 (C-H) 結合の分子内に含まれる比率を減少させた重合性を有する化合物であってもよい。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 異なる屈折率を有する複数の樹脂層が中心軸から半径方向外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成されている、中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するファイバ状のコアと、

前記コアの外側に被覆され、前記コアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とから成り、

前記コアの各前記樹脂層が、それぞれ異なる 1 種類のホモポリマーから成る樹脂で形成されていることを特徴とするプラスチック光ファイバ。

【請求項 2】 前記コアの各前記樹脂層を成す各前記ホモポリマーの各モノマーが、前記樹脂層毎に同一又は相異なる第 1 の化合物の水素を原子又は官能基で置換して炭素-水素 (C-H) 結合の分子内に含まれる比率を減少させた第 2 の化合物であることを特徴とする請求項 1 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 3】 前記原子がハロゲンであることを特徴とする請求項 2 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 4】 前記第 1 の化合物が、各前記樹脂層毎に同一であることを特徴とする請求項 2 又は 3 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 5】 前記モノマーが、アクリロイル又はメチルアクリロイルを有することを特徴とする請求項 4 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 6】 前記ハロゲンが弗素 (F) であり、且つ、前記複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、前記第 2 の化合物の弗素の置換数が小さな順に密着包囲して前記コアが形成されていることを特徴とする請求項 4 又は 5 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 7】 前記ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より 1 つ選択され、且つ、前記複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、前記第 2 の化合物の前記ハロゲンの置換数が大きな順に密着包囲して前記コアが形成されていることを特徴とする請求項 4 又は 5 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 8】 前記ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より 2 つ以上選択され、且つ、前記複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、前記第 2 の化合物の前記ハロゲンの合計の置換数が大きな順に密着包囲して前記コアが形成されていることを特徴とする請求項 4 又は 5 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバ。

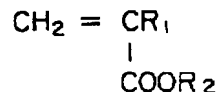
【請求項 9】 前記コアの最外部の屈折率が前記クラッドの屈折率よりも低いことを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 10】 前記ハロゲンが弗素 (F) であるモノマーのホモポリマーから成る樹脂層と、

前記ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より選択されるモノマーのホモポリマーから成る樹脂層とから前記コアが形成されることを特徴とする請求項 9 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 11】 前記第 1 の化合物が、化 1 の一般式で表されることを特徴とする請求項 5、6 又は 7 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバ。

【化 1】

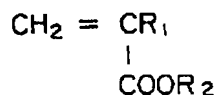


〔R<sub>1</sub> は、水素とメチルとから成る群より選択される原子又は官能基であり、

R<sub>2</sub> は、メチルと、エチルと、プロピルと、ブチルと、三級ブチルと、ペンチルと、ヘキシルと、シクロヘキシルと、イソボロニルと、アダマンチルとから成る群より選択される官能基である。〕

【請求項 12】 前記コアの各前記樹脂層が、化 2 の一般式で表される化合物である前記第 2 の化合物をモノマーとするホモポリマーから成ることを特徴とする請求項 2 に記載のプラスチック光ファイバ。

【化 2】



〔R<sub>1</sub> は、水素とメチルとから成る群より選択される原子又は官能基であり、

R<sub>2</sub> は、炭素数 1 ～ 20 の、直鎖アルキル、分枝アルキル又は環状アルキルである。〕

【請求項 13】 前記複数の前記樹脂層が、前記モノマーを中心軸から半径方向外側に向かって前記 R<sub>2</sub> の前記炭素数の大きな順に用いたホモポリマーから成り、前記複数の前記樹脂層で前記コアが形成されていることを特徴とする請求項 12 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 14】 前記モノマーが、前記化 2 の一般式で表される化合物の水素が弗素で更に置換された化合物である前記第 2 の化合物であり、前記モノマーを、中心軸から半径方向外側に向かって弗素置換数が小さな順に且つ前記 R<sub>2</sub> の炭素数が同一又は大きな順に、用いたホモポリマーから成る複数の樹脂層で前記コアが形成されていることを特徴とする請求項 12 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 15】 前記モノマーが、前記化 2 の一般式で表される化合物の水素が、塩素と、臭素と、ヨウ素から成る群より選択された原子で更に置換された化合物である前記第 2 の化合物であり、前記モノマーを、中心軸から半径方向外側に向かって前記原子の置換数の大きな順に且つ前記 R<sub>2</sub> の分子量が同一又は大きな順に、用いたホモポリマーから成る複数の樹脂層で前記コアが形成さ

れていることを特徴とする請求項 12 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 16】 第 1 の数の樹脂層であって各前記樹脂層は樹脂層毎に屈折率の異なる 1 種類のホモポリマーから成る前記第 1 の数の前記樹脂層が中心軸から外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成されている、中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するコアと、前記コアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とを備えるプラスチック光ファイバ母材を製造する方法であって、中空部を有する略円筒形状であるクラッド部に対して、前記ホモポリマーのモノマーを前記クラッド部を含む略円筒の中空部の内側表面状に投入し、前記クラッド部を長手軸方向を中心に回転させながら前記モノマーを重合させて略均一な厚さの層を形成する操作を、前記モノマーのホモポリマーの屈折率の低い順に前記第 1 の数の回数行い、前記コアを形成するコア形成のステップを含むことを特徴とするプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 17】 中空の略円筒形状であるクラッド部製造モールドの中空部内側表面上にクラッド部モノマーを投入し、前記クラッド部製造モールドを長手軸方向を中心に回転させながら前記クラッド部モノマーを重合させて、中空の略円筒形状であるクラッド部を形成するクラッド部製造のステップを更に含むことを特徴とする請求項 16 に記載のプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、プラスチック光ファイバ母材の製造方法及びプラスチック光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】 コア及びクラッド部が共にプラスチックであるプラスチック光ファイバは、ガラスファイバに比べ加工や取扱いが容易なため、その伝送損失が実質的に問題にされない程度に短距離の光伝送路等として現在多用されており、例えば電子装置間の光信号の送受等に用いられているが、将来、LAN、ISDN等の次世代通信網構想の中で重要な高速伝送媒体たる役割を担うことが期待されている。

【0003】 既に実用化されているプラスチック光ファイバは、図 6 に示すような階段状に変化する屈折率分布を有するステップインデックス型 (SI 型) のプラスチック光ファイバであるが、これは伝送帯域が小さいために伝送容量が少く、高速伝送媒体等の通信用には適していない。図 4 に示すような半径方向に変化するコア屈折率分布を有するグレーデッドインデックス (GI 型) のプラスチック光ファイバの方が、LAN等の通信用途に適しており、ファイバの伝送帯域を広げることにより更

に伝送容量が大きくなる。このとき、伝送容量を大きくするためには、滑らかな曲線状の屈折率分布を得ることが理想的であるが、図 4 のような階段状の屈折率分布でも不足のない伝送容量を得ることができる。

【0004】 特表平 5-808488 (第 1 の文献) にプラスチックの屈折率を変化させるドーパントを添加して、滑らかな屈折率分布を得る態様の GI 型プラスチック光ファイバが開示されている。また、特開平 4-97302 (第 2 の文献) には、複数のモノマーを用いて屈折率分布を得る態様の GI 型プラスチック光ファイバが開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上記の第 1 の文献のプラスチック光ファイバは、用いられるドーパントが可視光領域に吸収を有するため、伝送損失に有利ではない。また、第 2 の文献のプラスチック光ファイバは、複数のモノマーがブロック化し易いために光散乱が発生し易く、そのため伝送損失が上がってしまう。

【0006】 本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、所望の屈折率を実現し、伝送損失の低い優れたプラスチック光ファイバを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明のプラスチック光ファイバは、異なる屈折率を有する複数の樹脂層が中心軸から半径方向外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成されている、中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するファイバ状のコアと、コアの外側に被覆され、コアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とから成り、コアの各樹脂層が、それぞれ異なる 1 種類のホモポリマーから成る樹脂で形成されていることを特徴とする。

【0008】 また、本発明のプラスチック光ファイバは、コアの各樹脂層を成す各ホモポリマーの各モノマーが、重合性を有し樹脂層毎に同一又は相異なる第 1 の化合物の水素を原子又は官能基で置換して炭素-水素 (C-H) 結合の分子内に含まれる比率を減少させた重合性を有する第 2 の化合物であることを特徴としてもよい。

【0009】 また、本発明のプラスチック光ファイバは、原子がハロゲンであることを特徴としてもよい。

【0010】 また、本発明のプラスチック光ファイバは、第 1 の化合物が、各樹脂層毎に同一であることを特徴としてもよい。

【0011】 また、本発明のプラスチック光ファイバは、モノマーが、アクリロイル又はメチルアクリロイルを有することを特徴としてもよい。

【0012】 また、本発明のプラスチック光ファイバは、ハロゲンが弗素 (F) であり、且つ、複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、第 2 の化合物

の弗素の置換数が小さな順に密着包囲してコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0013】また、本発明のプラスチック光ファイバは、ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より1つ選択され、且つ、複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、第2の化合物のハロゲンの置換数が大きな順に密着包囲してコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0014】また、本発明のプラスチック光ファイバは、ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より2つ以上選択され、且つ、複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、第2の化合物のハロゲンの合計の置換数が大きな順に密着包囲してコアが形成されていることを特徴としてもよい。

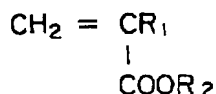
【0015】また、本発明のプラスチック光ファイバは、コアの最外部の屈折率がクラッドの屈折率よりも低いことを特徴としてもよい。

【0016】また、本発明のプラスチック光ファイバは、ハロゲンが弗素 (F) であるモノマーのホモポリマーから成る樹脂層と、ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より選択されるモノマーのホモポリマーから成る樹脂層とからコアが形成されることを特徴としてもよい。

【0017】また、本発明のプラスチック光ファイバは、第1の化合物が、化3の一般式で表されることを特徴としてもよい。

【0018】

【化3】

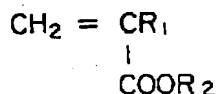


【0019】[R<sub>1</sub> は、水素とメチルとから成る群より選択される原子又は官能基であり、R<sub>2</sub> は、メチルと、エチルと、プロピルと、ブチルと、三級ブチルと、ペンチルと、ヘキシルと、シクロヘキシルと、イソボロニルと、アダマンチルとから成る群より選択される官能基である。]。

【0020】また、本発明のプラスチック光ファイバは、コアの各樹脂層が、化4の一般式で表される化合物である第2の化合物をモノマーとするホモポリマーから成ることを特徴としてもよい。

【0021】

【化4】



【0022】[R<sub>1</sub> は、水素とメチルとから成る群より選択される原子又は官能基であり、R<sub>2</sub> は、炭素数1〜20の、直鎖アルキル、分枝アルキル又は環状アルキル

である。]。

【0023】また、本発明のプラスチック光ファイバは、複数の樹脂層が、モノマーを中心軸から半径方向外側に向かってR<sub>2</sub>の炭素数の大きな順に用いたホモポリマーから成る複数の樹脂層でコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0024】また、本発明のプラスチック光ファイバは、モノマーが、化2の一般式で表される化合物の水素が弗素で更に置換された化合物である第2の化合物であり、モノマーを、中心軸から半径方向外側に向かって弗素置換数の小さな順に且つR<sub>2</sub>の炭素数が同一又は大きな順に、用いたホモポリマーから成る複数の樹脂層でコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0025】また、本発明のプラスチック光ファイバは、モノマーが、化2の一般式で表される化合物の水素が、塩素と、臭素と、ヨウ素から成る群より選択された原子で更に置換された化合物である第2の化合物であり、モノマーを、中心軸から半径方向外側に向かって原子の置換数の大きな順に且つR<sub>2</sub>の分子量が同一又は大きな順に、用いたホモポリマーから成る複数の樹脂層でコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0026】本発明のプラスチック光ファイバ母材の製造方法は、第1の数の樹脂層であって各樹脂層は樹脂層毎に屈折率の異なる1種類のホモポリマーから成る第1の数の樹脂層が中心軸から外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成されている、中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するコアと、コアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とを備えるプラスチック光ファイバ母材を製造する方法であって、中空部を有する略円筒形状であるクラッド部に対して、ホモポリマーのモノマーをクラッド部を含む略円筒の中空部の内側表面状に投入し、クラッド部を長手軸方向を中心に回転させながらモノマーを重合させて略均一な厚さの層を形成する操作を、モノマーのホモポリマーの屈折率の低い順に第1の数の回数行い、コアを形成するコア形成のステップを含むことを特徴とする。

【0027】また、本発明のプラスチック光ファイバは、中空の略円筒形状であるクラッド部製造モールドの中空部内側表面上にクラッド部モノマーを投入し、クラッド部製造モールドを長手軸方向を中心に回転させながらクラッド部モノマーを重合させて、中空の略円筒形状であるクラッド部を形成するクラッド部製造のステップを更に含むことを特徴としてもよい。

【0028】以下、本発明のプラスチック光ファイバ及び母材の製造方法に関して、更に説明をする。

【0029】本発明のプラスチック光ファイバは、内側から屈折率の高い順に複数の樹脂層から成る構成の母材を、公知の方法で加熱熔融して線引することにより、容易に得ることができる。

【0030】本発明のプラスチック光ファイバを構成する樹脂のモノマーは、以下に例示する化合物を上記第1の化合物とし、これらのハロゲン置換化合物である第2の化合物であってもよい：アクリル酸メチル（メチルアクリレート）、メタクリル酸メチル（メチルメタクリレート）、アクリル酸エチル、メタクリル酸エチル、アクリル酸プロピル、メタクリル酸プロピル、アクリル酸ブチル、メタクリル酸ブチル、アクリル酸三級ブチル、メタクリル酸三級ブチル、アクリル酸ペンチル、メタクリル酸ペンチル、アクリル酸ヘキシル、メタクリル酸ヘキシル、アクリル酸シクロヘキシル、メタクリル酸シクロヘキシル、アクリル酸イソボロニル、メタクリル酸イソボロニル、アクリル酸アダマンチル（アクリルアダマンタン）、メタクリル酸アダマンチル（メタクリルアダマンタン）。このような第1の化合物をハロゲン化した第2の化合物をモノマーとして用いる場合は、モノマーのハロゲン置換数を変化させることにより、ホモポリマーの屈折率を変化させることができる。

【0031】また、本発明のプラスチック光ファイバを構成する樹脂のモノマーは、アクリル酸若しくはメタクリル酸の、直鎖アルキルエステル、分枝アルキルエステル、又は環状アルキルエステルであってもよい。このような化合物をモノマーとして用いる場合は、アルキルの炭素数を変化させることにより、屈折率を変化させることが可能である。アルキルの炭素数は、所望の屈折率を得るためには1〜20の幅で変化させればよい。製造工程等を考慮すると、この炭素数は、1〜15程度の範囲で変化させることが好ましい。

【0032】尚、本発明での「ホモポリマーから成る樹脂」は、可塑剤等、プラスチックに添加される公知の添加剤を含有するホモポリマーから成る樹脂を含む。

【0033】本発明のプラスチック光ファイバの分子量は、コアとクラッド部とを構成するホモポリマーのGPCによる重量平均分子量が、10,000以上300,000以下であることが好ましく、更には30,000以上250,000以下（更には50,000以上200,000以下）であることが好ましい。

【0034】コアを構成する高分子の重量平均分子量は、10,000以上300,000以下であることが好ましい。また、クラッド部を構成する高分子の重量平均分子量も、10,000以上300,000以下であることが好ましい。尚、母材を線引することによりプラスチック光ファイバを得ることができるので、母材を構成する樹脂が上記の分子量であれば、同様の分子量の樹脂で形成されるプラスチック光ファイバが得られる。

【0035】本発明のコア及びクラッド部を製造するためのモノマーの重合反応は公知の重合反応を用いることができるが、O-O結合を有する過酸化物やアゾ系化合物等を開始剤とするラジカル重合であることが好ましい。ここで、反応ラジカル重合反応の開始剤には、過酸

化ベンゾイル、過酸化ラウロイル等の、約40℃〜約100℃で有効にラジカルを発生するいわゆる中温開始剤が好適に使用可能である。従って、このような中温開始剤を用いた場合、重合反応の温度条件は、好適には約40℃〜約100℃である。反応熱や反応自体による膨脹収縮によって重合反応中若しくは反応後ポリマーにクラック等が生じないように、並びに、反応熱によってモノマーが反応中に沸騰することのないように、重合反応速度は調節される必要があり、これは重合温度と開始剤濃度との組み合わせにより調節可能である。ラジカル重合反応の開始剤の添加量は、約40℃〜約100℃の重合反応開始の条件に関して、系全体に対して0.001〜10重量%程度、更には0.01〜0.3重量%程度（特に0.05〜0.15重量%程度）であればよい。尚、このような熱エネルギーによる塊状重合以外にも、光エネルギーを用いた塊状重合等も使用可能である。この場合においても同様に、温度等の入力エネルギー量と開始剤濃度との組み合わせにより、重合反応速度を調節することが可能である。

【0036】プラスチック光ファイバ母材のコア又はクラッド部が、加熱により開始する重合反応により製造される場合には、コア又はクラッド部の製造に用いられる製造装置は、母材又は下記のモールドを回転可能で、且つ温度制御の機能をもつ加熱手段を有する装置であれば、形態を問わず、本発明に好適に使用できる。但し、この重合反応には、空気中の酸素に反応の進行が阻害される場合もあるため、母材をモールドに挿入して設置する際、その両端を封止できる機能が具備されることが好ましい。

【0037】重合反応の際、母材及びモールドを回転させる場合は、回転数が約10,000rpm以下、特に、約100rpm〜約5,000rpmであることが好ましい。

【0038】母材のクラッド部の製造に用いられるモールドは、中空の円筒形状であればよく、ガラス等様々な材料が使用可能である。母材のクラッド部は、上述のように回転させながら重合させてもよいし、ロッドに穴をあけて作製してもよい。コアの製造に際しては、コア中心まで重合を行ってもよいし、途中で重合を終了させてコラプスして製造してもよい。

【0039】

【作用】本発明のプラスチック光ファイバのコアは、内側から屈折率の高い順に複数の樹脂層から成る構成であるため、その屈折率分布は、中心から半径方向外側に向かって階段状を呈している。従って、モード分散を小さくできるので高速通信用途に要求されるレベルの大きな伝送帯域を実現することができる。

【0040】各樹脂層は、可視光領域に吸収帯を有するドーパントを含まないため、伝送損失を小さくすることができる。

【0041】また、各樹脂層はホモポリマーから成る樹脂で形成されているため、ブロック化による光散乱を生じることではない。

【0042】また、各樹脂層を構成するホモポリマーのモノマーに、炭素-水素(C-H)結合の比率の小さな化合物を用いているため、可視光領域の吸収が低減されて伝送損失への影響が低減される。

【0043】各樹脂層を構成するホモポリマーのモノマーは、重合性を有する第1の化合物の水素(H)を、原子又は官能基で置換して第1の化合物よりも炭素-水素(C-H)結合を減少させた第2の化合物を用いるため、プラスチック光ファイバに用いることのできる公知のモノマーの置換誘導体を用いて、屈折率分布を有するG I型のプラスチック光ファイバを得ることができる。この置換誘導体は、公知のモノマーを出発物質として比較的容易に合成でき、しかも置換数や置換原子又は置換基を変えることにより、容易に屈折率の異なるホモポリマーを得ることができるため、これらのモノマーを用いて所望の屈折率分布を容易に得ることができる。

【0044】また、ハロゲンで置換されたモノマーを用いる態様では、モノマーの置換ハロゲンの数を変化させるだけで樹脂の屈折率を変化させることができるため、所望の屈折率を容易に得ることができる。ハロゲンが弗素の場合、モノマーに含まれる弗素がホモポリマーの屈折率を減少させ、弗素置換数が大きくなるほど屈折率が低下する傾向をもつ。ハロゲンが塩素、臭素及びヨウ素の場合、モノマーに含まれる塩素、臭素及びヨウ素がホモポリマーの屈折率を増加させ、置換数が大きくなるほど屈折率が上昇する傾向をもつ。また、弗素と、[塩素、臭素及びヨウ素]とを組合わせてモノマーを置換することにより、屈折率を所望の値に調節することも可能である。従って、ホモポリマー層を、屈折率を変化させて幾層にも形成することにより、図4に示されるような屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることが可能となる。

【0045】同様に、官能基の分子量を変化させて屈折率を変化させたホモポリマーを樹脂層に用いる態様では、官能基の分子量を変化させるだけで樹脂の屈折率を変化させることができるため、所望の屈折率を容易に得ることができる。この場合は、モノマー分子に含まれる炭素-水素(C-H)結合の割合が小さくなれば屈折率が上昇する。官能基が直鎖アルキル、分枝アルキル又は環状アルキルである場合は、炭素数が大きくなるほど屈折率が上昇する。従って、ホモポリマー層を、屈折率を変化させて幾層にも形成することにより、図4に示されるような屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることが可能となる。

【0046】また、上記のモノマーを用いて、コア最外附近の屈折率をクラッドの屈折率よりも低くして、コア中心部とコア最外部との屈折率差( $\Delta n$ )を大きくする

ことは容易であり、この場合は、光のとじこめ効果が大きくなるため、曲げ損失が小さなプラスチック光ファイバを得ることが可能になる。

【0047】本発明のプラスチック光ファイバ母材の製造方法では、各樹脂層はホモポリマーから成る樹脂で形成されるため、重合反応が複雑ではなく、また、重合に要する時間が低減されて、伝送帯域の大きなG I型のプラスチック光ファイバのための母材を簡便に且つ品質のばらつきがなく製造することが可能となる。

【0048】

【実施例】以下、添付した図面を必要に応じて参照しつつ、実施例により本発明を更に詳細に説明する。尚、添付した図面の説明においては、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略した。また、説明の便宜のために縮尺を誇張して描く場合もある。

【0049】図1は、本発明に使用可能なプラスチック光ファイバ母材の製造装置の斜視図である。図1に示されるように、製造装置100は、台102と、重合部収容部104とにより構成される。重合部収容部104には、2台の重合部組立体108a、bが収容され、それぞれモータ106a、bに接続されて回転可能な状態にある。底面部を持たない重合部収容部104は、台102の上面が無い部分の上に設置される。重合部収容部104の下方の台102底面には、ヒータ110(点線で図示)が配置される。従って、ヒータ110と重合部組立体108a、bとの間には遮るものが存在せず、重合部組立体108a、bは、ヒータ110から直接加熱される。ヒータ110は、温度制御の機能を有している。

【0050】以下、構成の同一な左右の重合部組立体108a、bにつき、108aに関して説明をし、以下の説明では添字aを省略する。

【0051】図2は、製造途中の母材を設置した状態での重合部組立体108の断面図である。図1及び図2に示されるように、母材製造過程における重合部組立体108は、両側に1個ずつの円柱状のテフロン製チャック122、123及びカバー124、125とを備え、内部に製造途中の母材126を包含する。重合部組立体108の片方の端のチャック122は、モータ106の駆動を伝達する軸128に固定された支持円筒132に係合し、他方の端のチャック123は、軸受130に挿入された軸129に固定された支持円筒133に係合している。即ち、重合部組立体108は、モータ106の駆動によって回転可能な状態で、その両端で水平に支持され重合部収容部104内に包含される。

【0052】図2に示されるように、チャック122及び123は、それぞれ、一方の底面の中心に母材126と同じ直径の円柱状の窪み134及び135を有し、母材126がこれら窪み134及び135に係合される。

【0053】(実施例1) 図3は、本実施例におけるプラスチック光ファイバ母材の製造工程の工程図であり、



製造の各工程におけるプラスチック光ファイバ母材の斜視図である。本実施例では、まず、図1及び図2に示されるプラスチック光ファイバ母材製造装置を用い、階段状の屈折率分布を有するG I型プラスチック光ファイバ母材を作製した。次に、線引装置を用いてこの母材を線引してプラスチック光ファイバを得た。そして、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0054】本実施例では、以下のようにプラスチック光ファイバ母材を作製した。図1〜図3を参照してその工程を説明する。まず、オクタフルオロメタクリル酸メチル（オクタフルオロメチルメタクリレート）のホモポリマーであるポリオクタフルオロメタクリル酸メチルから成る内径40mm、外径50mmの円筒126を用意した（図3（a）参照）。オクタフルオロメタクリル酸メチルは、メタクリル酸メチルの水素（H）を全て弗素（F）で置換した化合物である。この円筒126を、母材のクラッド部として用いた。

【0055】このクラッド部126の内側へのコアの形成は、次のように行った。図1及び図2に示されるように、母材（以下、説明の簡略化のため、少なくともクラッド部を有するものを総称して「プラスチック光ファイバ母材」ないし「母材」と称する）126の両端をチャック122及び123に係合させ、カバー124、125を配して重合部組立体108を成した。この重合部組立体108を製造装置100に設置した。次に、ヘプタフルオロメタクリル酸メチル（ヘプタフルオロメチルメタクリレート）に対して0.1%の過酸化ベンゾイルを混合して、母材126（即ち、この時点では図3（a）に示されるようにクラッド部302と等しい）の内側表面上に注入した。そして、ヒータ110を70℃の温度に設定して作動させ、同時にモータ106を作動させて重合部組立体108を約1,000rpmの回転数で回転させた。重合部組立体108を回転させることにより、注入されたヘプタフルオロメタクリル酸メチルは、遠心力によりクラッド部の円周方向及び長手方向に関してほぼ均一な厚さをもって母材126（この場合はクラッド部302）の内側表面上に存在する。この状態で加熱及び回転を継続し、クラッド部302の内側にポリヘプタフルオロメタクリル酸メチルから成るコア第1層304が形成された（図3（b1）参照）。尚、ヘプタフルオロメタクリル酸メチルは、メタクリル酸メチルの7弗素置換の化合物であり、本実施例では弗素置換の位置が任意のものをを用いればよい。

【0056】モノマーに、重合性化合物の水素を弗素置換した化合物を用いる場合、弗素置換数が大きい化合物ほど、そのホモポリマーの屈折率が小さくなる。従って、弗素置換物を用いる場合は、外側から、弗素置換数が大きい化合物の順に重合して複数の層を形成すれば、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降

下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を得ることができる。

【0057】ポリヘプタフルオロメタクリル酸メチルから成るコア第1層304形成の重合反応が完全に終了した後、コア第1層304の内側表面上に、0.1%の過酸化ベンゾイルを添加したヘキサフルオロメタクリル酸メチルを注入し、コア第1層形成と同様に、回転及び加熱を行い、ポリヘキサフルオロメタクリル酸メチルから成るコア第2層を形成した。尚、ヘキサフルオロメタクリル酸メチルは、メタクリル酸メチルの6弗素置換の化合物であり、本実施例では弗素置換の位置が任意のものをを用いればよい。更に、コア第2層の内側に、メタクリル酸メチルの5弗素置換化合物であるペンタフルオロメタクリル酸メチルを、0.1%の過酸化ベンゾイルを添加して注入し、同様に重合してコア第3層を形成した。

【0058】この後、同様にメタクリル酸メチルの4弗素置換物を重合したポリテトラフルオロメタクリル酸メチルから成るコア第4層、3弗素置換物を重合したポリトリフルオロメタクリル酸メチルから成るコア第5層、2弗素置換物を重合したポリジフルオロメタクリル酸メチルから成るコア第6層、1弗素置換物を重合したポリモノフルオロメタクリル酸メチルから成るコア第7層を、それぞれ重合によって形成し、最後にメタクリル酸メチルを注入充填して、コア中心部を形成した。尚、以上の重合に用いたメタクリル酸メチルの5〜1弗素置換物は、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素を置換したものであればよい。

【0059】以上のように、8層から成り内側に向かって漸次屈折率が上昇するコア306が形成され（図3（b i）参照、本実施例ではi=8）、クラッド部302とコア306とから成るプラスチック光ファイバ母材126の作製が完了した。ちなみに、このプラスチック光ファイバ母材の屈折率分布を干渉法（測定装置：P-101、ヨーク社製、以下、全ての実施例及び比較例の屈折率分布の測定においてこの方法及び装置を用いる）で調べたところ、図4のような階段状のG I型の屈折率分布を有することが明らかになった。また、作製された母材の分子量は、100,000であった。

【0060】次に、このプラスチック光ファイバ母材を、公知の線引装置を用いて、加熱溶融により直径650μmのプラスチック光ファイバに線引した。この時の線引の条件は、炉心管の温度が200℃、線引速度が2.0m/min.であった。線引されたプラスチック光ファイバの屈折率分布を、上記の母材の屈折率分布の測定と同じ方法、装置で測定したところ、図4に示されるような階段状のG I型の屈折率分布を呈していたことが明らかになった。線引された直後のプラスチック光ファイバの伝送損失を、カットバック法（測定装置：AQ-6315B、安藤電気社製、以下全ての実施例及び比較例の伝送損失及び曲げ損失の測定は、カットバック法

でAQ-6315Bを用いて測定を行った)で測定したところ、波長650nmに関して90dB/kmであった。

【0061】次に、このプラスチック光ファイバを、直径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、カットバック法でAQ-6315Bを用いて曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、1.0dBであった。

【0062】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸メチルを弗素置換したモノマーを用い、外側から中心に向かって、置換数を順次増加させてコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0063】(実施例2) コアを形成する各モノマーに、メタクリル酸メチルの塩素置換物を用いた以外は、全て実施例1と同様の操作により、プラスチック光ファイバ母材を作製してこれをプラスチック光ファイバに線引し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0064】モノマーに、重合性化合物の水素を塩素(C1)で置換した化合物を用いる場合、塩素置換数が大きい化合物ほど、弗素置換物とは逆に、そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。従って、塩素置換物を用いる場合は、外側から、塩素置換数が小さい化合物の順に重合して複数の層を形成すれば、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を得ることができる。

【0065】本実施例では、メタクリル酸メチルのホモポリマーから成る内径40mm、外径50mmの円筒をクラッド部とし、図1及び図2に示される装置を用いて、その内側に、メタクリル酸メチルの1塩素置換物であるモノクロメタクリル酸メチルを1.0%の過酸化ベンゾイルと共に注入して、装置を回転し加熱して重合させ、コア第1層を形成した。

【0066】コア第1層の形成後、順次、ジクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第2層、トリクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第3層、テトラクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第4層、ペンタクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第5層、ヘキサクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第6層、ペンタクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第7層を、実施例1と同様に形成した。最後に、オクタクロロメタクリル酸メチルを中心部に注入充填して重合させて、コアの形成を完了しプラスチック光ファイバ母材を作製した。以上のように、メタクリル酸メチルの塩素置換数を1から順に8まで増加して作製されたプラスチック光ファイバ母材の屈折率分布を測定したところ、図4に示されるような階段状のGI型屈折率分布を示していることが明らかになった。尚、以上のメタクリル酸メチルの1~8塩素置換物はそ

れぞれ、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素を塩素置換したものであればよい。作製された母材の分子量は、150,000であった。

【0067】次に、このプラスチック光ファイバ母材を、実施例1と同じ線引装置を用いて実施例1と同じ線引条件により、直径650μmのプラスチック光ファイバに線引した。線引されたプラスチック光ファイバの屈折率分布は、図4に示されるような階段状のGI型の分布を呈していた。線引された直後のプラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長650nmに関して100dB/kmであった。

【0068】次に、このプラスチック光ファイバを、直径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、実施例1と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、1.1dBであった。

【0069】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸メチルを塩素置換したモノマーを用い、塩素置換数を変化させた8つのホモポリマーの層から成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0070】(実施例3) コアを形成する各モノマーに、メタクリル酸エチルの臭素置換物を用いた以外は、全て実施例1と同様の操作により、プラスチック光ファイバ母材を作製してこれをプラスチック光ファイバに線引し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0071】モノマーに、重合性化合物の水素を臭素(Br)で置換した化合物を用いる場合、臭素置換数が大きい化合物ほど、塩素置換物と同様に、そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。従って、臭素置換物を用いる場合は、外側から、臭素置換数が小さい化合物の順に重合して複数の層を形成すれば、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を得ることができる。

【0072】本実施例では、メタクリル酸エチルのホモポリマーから成る内径40mm、外径50mmの円筒をクラッド部とし、図1及び図2に示される装置を用いて、その内側に、メタクリル酸エチルの1臭素置換物であるモノプロモメタクリル酸エチルを1.0%の過酸化ベンゾイルと共に注入して、装置を回転し加熱して重合させ、コア第1層を形成した。

【0073】コア第1層の形成後、順次、ジプロモメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第2層、トリプロモメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第3層、テトラプロモメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第4層、ペンタプロモメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第5層、ヘキサプロモメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第6層、ペンタプロモメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第7層、オクタプロモメタクリ

ル酸エチルのホモポリマーのコア第8層、ノナブロモメ  
タクリル酸エチルのホモポリマーのコア第9層を、実施  
例1と同様に形成した。最後に、デカブロモメタクリル  
酸エチルを中心部に注入充填して重合させて、コアの形  
成を完了しプラスチック光ファイバ母材を作製した。以  
上のように、メタクリル酸エチルの臭素置換数を1から  
順に10まで増加して作製されたプラスチック光ファイ  
バ母材の屈折率分布を測定したところ、図4に示される  
と同様の形状で段数が10段の階段状のG I型屈折率分  
布を示していることが明らかになった。尚、以上のメタ  
クリル酸エチルの1~10臭素置換物はそれぞれ、メタ  
クリル酸エチルの任意の位置の水素を臭素置換したもの  
であればよい。作製された母材の分子量は、120, 0  
00であった。

【0074】次に、このプラスチック光ファイバ母材  
を、実施例1と同じ線引装置を用いて実施例1と同じ線  
引条件により、直径650 $\mu$ mのプラスチック光ファイ  
バに線引した。線引されたプラスチック光ファイバの屈  
折率分布は、図4に示されると同様の形状で段数が10  
段の階段状のG I型の分布を呈していた。線引された直  
後のプラスチック光ファイバの伝送損失を測定したとこ  
ろ、波長650nmに関して90dB/kmであった。

【0075】次に、このプラスチック光ファイバを、直  
径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、実施例1  
と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値  
は、0.9dBであった。

【0076】以上のように、本実施例では、本発明に従  
って、メタクリル酸エチルを臭素置換したモノマーを用  
い、臭素置換数を変化させた10のホモポリマーの層か  
ら成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製できる  
ことが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好  
な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0077】（実施例4）コアを形成する各モノマー  
に、メタクリル酸エチルのヨウ素置換物を用いた以外  
は、全て実施例1と同様の操作により、プラスチック光  
ファイバ母材を作製してこれをプラスチック光ファイバ  
に線引し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失  
と曲げ損失とを測定した。

【0078】モノマーに、重合性化合物の水素をヨウ素  
（I）で置換した化合物を用いる場合、ヨウ素置換数が  
大きい化合物ほど、塩素置換物や臭素置換物と同様に、  
そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。従って、ヨウ  
素置換物を用いる場合は、外側から、ヨウ素置換数が小  
さい化合物の順に重合して複数の層を形成すれば、中心  
部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下す  
る屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を得  
ることができる。

【0079】本実施例では、メタクリル酸エチルのホモ  
ポリマーから成る内径40mm、外径50mmの円筒を  
クラッド部とし、図1及び図2に示される装置を用い

て、その内側に、メタクリル酸エチルの1ヨウ素置換物  
であるモノヨードメタクリル酸エチルを1.0%の過酸  
化ベンゾイルと共に注入して、装置を回転し加熱して重  
合させ、コア第1層を形成した。

【0080】コア第1層の形成後、順次、ジヨードメタ  
クリル酸エチルのホモポリマーのコア第2層、トリヨー  
ドメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第3層、テ  
トラヨードメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第  
4層、ペンタヨードメタクリル酸エチルのホモポリマー  
のコア第5層、ヘキサヨードメタクリル酸エチルのホモ  
ポリマーのコア第6層、ペンタヨードメタクリル酸エチ  
ルのホモポリマーのコア第7層を、実施例1と同様に形  
成した。最後に、オクタヨードメタクリル酸エチルを中  
心部に注入充填して重合させて、コアの形成を完了しプ  
ラスチック光ファイバ母材を作製した。以上のように、  
メタクリル酸エチルのヨウ素置換数を1から順に8まで  
増加させて作製されたプラスチック光ファイバ母材の屈  
折率分布を測定したところ、図4に示されるような階段  
状のG I型屈折率分布を示していることが明らかになっ  
た。尚、以上のメタクリル酸エチルの1~8ヨウ素置換  
物はそれぞれ、メタクリル酸エチルの任意の位置の水素  
をヨウ素置換したものであればよい。作製された母材の  
分子量は、110, 000であった。

【0081】次に、このプラスチック光ファイバ母材  
を、実施例1と同じ線引装置を用いて実施例1と同じ線  
引条件により、直径650 $\mu$ mのプラスチック光ファイ  
バに線引した。線引されたプラスチック光ファイバの屈  
折率分布は、図4に示されるような階段状のG I型の分  
布を呈していた。線引された直後のプラスチック光ファ  
イバの伝送損失を測定したところ、波長650nmに関  
して100dB/kmであった。

【0082】次に、このプラスチック光ファイバを、直  
径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、実施例1  
と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値  
は、1.0dBであった。

【0083】以上のように、本実施例では、本発明に従  
って、メタクリル酸エチルをヨウ素置換したモノマーを  
用い、ヨウ素置換数を変化させた8つのホモポリマーの  
層から成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製で  
きることを示され、更にこのプラスチック光ファイバが  
良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認され  
た。

【0084】（実施例5）コアを形成する各モノマー  
に、以下の化合物を用いた以外は、全て実施例1と同様  
の操作により、プラスチック光ファイバ母材を作製して  
これをプラスチック光ファイバに線引し、得られたプラ  
スチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定し  
た。また、本実施例では、プラスチック光ファイバの伝  
送帯域も測定した。

【0085】本実施例では、モノマーにメタクリル酸ア

ルキルエステルの塩素置換物を用い、外側から順に塩素置換数が増加し、且つ、エステル結合しているアルキルの炭素数（分子量）が減少しないよう（即ち、内側に向かって同一又は増加するように）に、モノマーを選択して、ホモポリマーポリマーから成る樹脂層を14層形成してコアを作製した。

【0086】前述のように、塩素置換数が大きい化合物ほど、そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。更に、メタクリル酸アルキルエステルの場合は、エステル結合したアルキルの炭素数が大きくなるほど、そのホモポリマーの屈折率は大きくなる。従って、メタクリル酸アルキルエステルの塩素置換物をモノマーとして用い、上記の効果を利用して、塩素置換数とアルキルの分子量との組合わせによりモノマーを選び、複数の層を形成して、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を得ることができる。

【0087】まず、メタクリル酸メチルのホモポリマーから成る内径4.0mm、外径5.0mmの円筒をクラッド部とし、図1及び図2に示される装置を用いて、その内側に、メタクリル酸メチルの1塩素置換物であるモノクロロメタクリル酸メチルを1.0%の過酸化ベンゾイルと共に注入して、装置を回転し加熱して重合させ、コア第1層を形成した。

【0088】コア第1層の形成後、順次、ジクロロメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第2層、トリクロロメタクリル酸プロピルのホモポリマーのコア第3層、テトラクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第4層、ペンタクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第5層、ヘキサクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第6層、ペンタクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第7層、オクタクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第8層、ノナクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第9層、デカクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーポリマーのコア第10層、ウンデカクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第11層、ドデカクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第12層、トリデカクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第13層を、実施例1と同様に形成した。最後に、テトラデカクロロメタクリル酸ブチルを中心部に注入充填して重合させて、コアの形成を完了しプラスチック光ファイバ母材を作製した。以上のように、メタクリル酸アルキルエステルの、アルキルの炭素数を1から5まで増加させ5以降は同一とし、且つ、塩素置換数を1から順に14まで増加させて、14層を形成して作製されたプラスチック光ファイバ母材の屈折率分布を測定したところ、図4に示されると同様の形状で段数が14段の階段状のGI型屈折率分布を示していることが明らかになった。尚、以上のメタクリル酸アルキルエステルの1～14塩素置換物は

それぞれ、メタクリル酸アルキルエステルの任意の位置の水素を塩素置換したものであればよい。作製された母材の分子量は、180,000であった。

【0089】次に、このプラスチック光ファイバ母材を、実施例1と同じ線引装置を用いて実施例1と同じ線引条件により、直径650 $\mu$ mのプラスチック光ファイバに線引した。線引されたプラスチック光ファイバの屈折率分布は、図4に示されると同様の形状で段数が10段の階段状のGI型の分布を呈していた。線引された直後のプラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長650nmに関して100dB/kmであった。

【0090】また、このプラスチック光ファイバの伝送帯域を、パルス法により測定した。このプラスチック光ファイバの伝送領域は、波長650nmにおいて100MHz $\cdot$ kmであった。この伝送帯域の値は、標準的なSI型プラスチック光ファイバの伝送帯域と比べて、約10倍広いことが明らかになった。

【0091】次に、このプラスチック光ファイバを、直径1.0mmのマンドレルに巻きつけた状態で、実施例1と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、0.9dBであった。

【0092】以上のように、本実施例のプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認され、更には、広い伝送帯域を有することが明らかになった。

【0093】尚、本実施例は変形が可能であり、例えば、塩素の代りに臭素又はヨウ素を用いてメタクリル酸アルキルエステルを置換したモノマーを用いて、同様に複数の層を形成してプラスチック光ファイバを作製してもよい。また、塩素の代りに弗素を用いてメタクリル酸アルキルエステルを置換したモノマーを用い、上記の塩素の場合とは逆に、外側から中心に向かって、弗素置換数が減少するようにモノマーを選んでコアを形成してもよい。これらの変形例のプラスチック光ファイバの場合も、本実施例と同様の屈折率分布、伝送損失、曲げ損失及び伝送帯域を得ることができた。

【0094】（実施例6）コアを形成する各モノマーに、メタクリル酸メチルの塩素及び臭素の置換物を用いた以外は、全て実施例1と同様の操作により、プラスチック光ファイバ母材を作製してこれをプラスチック光ファイバに線引し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0095】モノマーに、重合性化合物の水素を塩素（Cl）と臭素（Br）で置換した化合物を用いる場合、塩素置換数と臭素置換数の合計が大きい化合物ほど、そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。また、塩素と臭素ではモノマーにおける置換数に対応した屈折率の変化の程度が異なるため、塩素置換数と臭素置換数との組合わせに基づいてモノマーを選択することにより、

塩素のみの置換や臭素のみの置換によって実現されるコアの屈折率分布とは異なる屈折率分布を得ることが可能となる。本実施例では、外側から、塩素置換数と臭素置換数との合計が小さい化合物の順に重合して複数の層を形成し、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を得ることができる。

【0096】本実施例では、まず、内径50mm、外形60mmのガラス製の中空円筒状のクラッド部作製用モールドを図1に示される装置に設置し、0.1%の過酸化ベンゾイルを添加したメタクリル酸メチルを、クラッド部用モールドの中空部の内側に投入した。そして、モールドを4,000rpmで回転させながら加熱し、重合を行いホモポリマーから成る内径40mm、外径50mmの中空円筒状のクラッド部を作製した。次に、図1及び図2に示される装置を用いて、クラッド部の中空部の内側に、メタクリル酸メチルの1塩素置換物であるモノクロロメタクリル酸メチルを1.0%の過酸化ベンゾイルと共に注入して、装置を回転し加熱して重合させ、コア第1層を形成した。

【0097】コア第1層の形成後、順次、メタクリル酸メチルの1塩素1臭素置換物であるクロロプロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第2層、2塩素1臭素置換化合物であるジクロロモノプロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第3層、2塩素2臭素置換物であるジクロロジプロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第4層、3塩素2臭素置換物であるトリクロロジプロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第5層、3塩素3臭素置換物であるトリクロロトリプロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第6層、4塩素3臭素置換物であるテトラクロロトリプロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第7層を、実施例1と同様に形成した。最後に、4塩素4臭素置換物であるテトラクロロテトラプロモメタクリル酸メチルを中心部に注入充填して重合させて、コアの形成を完了しプラスチック光ファイバ母材を作製した。以上のように、メタクリル酸メチルの置換数の合計を1から順に8まで増加して作製されたプラスチック光ファイバ母材の屈折率分布を測定したところ、図4に示されるような階段状のGI型屈折率分布を示していることが明らかになった。尚、以上のメタクリル酸メチルの置換物はそれぞれ、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素を置換したものであればよい。作製された母材の分子量は、160,000であった。

【0098】次に、このプラスチック光ファイバ母材を、実施例1と同じ線引装置を用いて実施例1と同じ線引条件により、直径650 $\mu$ mのプラスチック光ファイバに線引した。線引されたプラスチック光ファイバの屈折率分布は、図4に示されるような階段状のGI型の分布を呈していた。線引された直後のプラスチック光ファイ

バの伝送損失を測定したところ、波長650nmに関して100dB/kmであった。

【0099】次に、このプラスチック光ファイバを、直径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、実施例1と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、1.0dBであった。

【0100】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸メチルを塩素及び臭素で置換したモノマーを用い、置換数の合計を変化させた8つのホモポリマーの層から成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0101】（実施例7）コアを形成する各モノマーに、メタクリル酸アルキルエステルを用いた以外は、全て実施例1と同様の操作により、プラスチック光ファイバ母材を作製してこれをプラスチック光ファイバに線引し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0102】アルキルの炭素数を変化させれば、アクリル酸誘導体分子中の炭素-水素(C-H)結合の比率が変化するため、そのホモポリマーの屈折率が変化する。そして、このことを利用して、複数のホモポリマーの層を形成して所定の屈折率分布を有するコアを作製する場合は、外側からアルキルの炭素数が増加する順にアクリル酸誘導体を選択してモノマーとし、このホモポリマーから成る複数の層を形成することにより、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を得ることができる。

【0103】本実施例では、メタクリル酸メチルのホモポリマーから成る内径40mm、外径50mmの円筒をクラッド部とし、図1及び図2に示される装置を用いて、その内側に、メタクリル酸エチルを1.0%の過酸化ベンゾイルと共に注入して、装置を回転し加熱して重合させ、コア第1層を形成した。

【0104】コア第1層の形成後、順次、メタクリル酸プロピルのホモポリマーのコア第2層、メタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第3層、メタクリル酸ペンチルのホモポリマーのコア第4層、メタクリル酸ヘキシルのホモポリマーのコア第5層、メタクリル酸ヘプチルのホモポリマーのコア第6層を、実施例1と同様に形成した。最後に、メタクリル酸オクチルを中心部に注入充填して重合させて、コアの形成を完了しプラスチック光ファイバ母材を作製した。以上のように、メタクリル酸アルキルエステルにおいて、アルキルに直鎖アルキルを用いてその炭素数を1から順に7まで増加させて作製されたプラスチック光ファイバ母材の屈折率分布を測定したところ、図4に示されるような階段状のGI型屈折率分布を示していることが明らかになった。作製された母材

の分子量は170,000であった。

【0105】次に、このプラスチック光ファイバ母材を、実施例1と同じ線引装置を用いて実施例1と同じ線引条件により、直径650 $\mu$ mのプラスチック光ファイバに線引した。線引されたプラスチック光ファイバの屈折率分布は、図4に示されるような階段状のGI型の分布を呈していた。線引された直後のプラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長650nmに関して120dB/kmであった。

【0106】次に、このプラスチック光ファイバを、直径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、実施例1と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、1.2dBであった。

【0107】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸直鎖アルキルエステルの炭素数を変化させたモノマー群の中から炭素数の小さい順に選び、外側から8つのホモポリマーの層から成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0108】(実施例8) 本実施例では、図5に示されるように、クラッド部よりも低い屈折率を最外部に持ち、中心に向かって階段状に上昇し、コアの最大屈折率と最小屈折率との差( $\Delta n$ )の大きな屈折率分布を有するコアを備えるプラスチック光ファイバを作製した。クラッド部にハロゲン置換の無いメタクリル酸メチルのホモポリマーを用い、クラッド部に近接するコアの部分には、屈折率を降下させる弗素(F)の置換物を用い、弗素置換数が順に小さくなるように実施例1と同様の操作により複数の層を形成した。次いでその内側に、メタクリル酸メチルのホモポリマー層を1層形成し、更にその内側に、屈折率を上昇させる塩素(Cl)の置換物を、塩素置換数が大きくなる順に実施例1と同様の操作により複数の層を形成して、プラスチック光ファイバ母材を作製した。このプラスチック光ファイバのコアは、合計で16層から成る。これをプラスチック光ファイバに線引し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0109】本実施例では、メタクリル酸メチルのホモポリマーから成る内径40mm、外径50mmの円筒をクラッド部とし、図1及び図2に示される装置を用いて、その内側に、メタクリル酸メチルの8弗素置換物であるオクタフルオロメタクリル酸メチルを1.0%の過酸化ベンゾイルと共に注入して、装置を回転し加熱して重合させ、コア第1層を形成した。

【0110】コア第1層の形成後、順次、ヘキサフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第2層、ペンタフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第3層、テトラフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第4層、トリフルオロメタクリル酸メチルの

ホモポリマーのコア第5層、ジフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第6層、モノフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第7層を、実施例1と同様に形成した。次に、実施例1と同様の層の形成方法で、メタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第8層を形成した。

【0111】更に、コア第8層の内側に、順に、メタクリル酸メチルの1塩素置換物であるモノクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第9層、ジクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第10層、トリクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第11層、テトラクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第12層、ペンタクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第13層、ヘキサクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第14層、ヘプタクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第15層を形成し、最後に、オクタクロロメタクリル酸メチルを注入充填して重合してコア第16層とし、プラスチック光ファイバ母材が形成された。

【0112】以上のように作製されたプラスチック光ファイバ母材の屈折率分布を測定したところ、図5に示されるように、 $\Delta n$ の大きな階段状のGI型屈折率分布を示していることが明らかになった。尚、以上のメタクリル酸メチルの不素化合物及び塩素置換物はそれぞれ、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素を弗素又は塩素置換したものであればよい。作製された母材の分子量は、190,000であった。

【0113】次に、このプラスチック光ファイバ母材を、実施例1と同じ線引装置を用いて実施例1と同じ線引条件により、直径650 $\mu$ mのプラスチック光ファイバに線引した。線引されたプラスチック光ファイバの屈折率分布は、図5に示されるような階段状のGI型の分布を呈していた。線引された直後のプラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長650nmに関して100dB/kmであった。

【0114】次に、このプラスチック光ファイバを、直径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、実施例1と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、0.3dBであった。

【0115】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸メチルを弗素置換したモノマーと、塩素置換したモノマーとを用い、 $\Delta n$ の大きなプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。特に、このような $\Delta n$ の大きなコアを有するプラスチック光ファイバは、曲げ特性において非常に有利な結果が得られることが示された。

【0116】(比較例1~5) 本発明に従ってなされた実施例1~8において示された本発明の有効性を更に明らかにするため、以下の本発明によらない5つの例を比

10

20

30

40

50

較例 1~5 として示す。これらの比較例 1~5 では、コアは実施例 1~8 と同じく屈折率の異なる複数の層から成るが、屈折率の変化を、重合性のモノマーに屈折率を上昇させるドーパント（屈折率上昇剤）を比率を変えて添加することにより、屈折率の異なる樹脂層を得て、図 4 に示されるような階段状の屈折率分布を得る点が、上記の実施例 1~8 との相違点である。

【0117】比較例 1~5 では、モノマーには共通してメタクリル酸メチルを用いた。更に、屈折率上昇剤にフタル酸ブチルベンジルエステルを用いた例を比較例 1、屈折率上昇剤にジフェニルスルフィドを用いた例を比較例 2、屈折率上昇剤にトリフェニルフォスフェートを用いた例を比較例 3、クラッドも重合により作製し、屈折率上昇剤にフタル酸ブチルベンジルエステルを用いた例を比較例 4、屈折率上昇剤にオクタクロロメタクリル酸メチルを用いた例を比較例 5 とした。尚、比較例 5 は、モノマーと屈折率上昇剤が共重合をする。

【0118】これら 5 つの比較例に共通して、以下の手順を行った。まず、メタクリル酸メチルの重合物から成る内径 4.0 mm、外径 5.0 mm の円筒を用意してこれをクラッド部とした。但し、比較例 4 では、実施例 6 のクラッド部製造と同様にメタクリル酸メチルを重合してクラッド部を作製した。そして、図 1 及び図 2 に示される装置を用いて、図 3 に示される工程によってプラスチック光ファイバ母材を作製した。即ち、メタクリル酸メチルに対して上記の屈折率上昇剤を徐々に量を増加させて添加し調製したモノマー屈折率上昇剤混合液 S (1) ~ S (20) ( $S(x)$  の屈折率  $< S(x+1)$  の屈折率;  $1 \leq x \leq 20$ ) を用い、これを母材の内側表面上に注入して加熱し重合させる操作を、モノマー屈折率上昇剤混合液を 1 つずつ順に行い、屈折率が上昇する順に 8 層を形成してコアを作製し、プラスチック光ファイバ母材を得た。このとき、比較例 1~5 に共通して、その屈折率分布は図 4 に示されるように階段状の分布を有していたことが明らかになった。次いで、実施例 1~8 と同じ装置及び条件でこれを線引してプラスチック光ファイバとした。比較例 1~5 で得られたプラスチック光ファイバは、それぞれ、図 4 で示される階段状の G I 型屈折率分布を呈していた。そして、実施例 1~9 と同様に、波長 650 nm に対する伝送損失を測定し、次いで、10 mm のマンドレルに巻きつけた状態での曲げ損失を測定した。

【0119】モノマーであるメタクリル酸メチルに屈折率上昇剤としてフタル酸ブチルベンジルエステルを添加した比較例 1 では、伝送損失は 150 dB/km、曲げ損失は 2.5 dB であった。モノマーであるメタクリル酸メチルに屈折率上昇剤としてジフェニルスルフィドを添加した比較例 2 では、伝送損失は 160 dB/km、曲げ損失は 2.6 dB であった。モノマーであるメタクリル酸メチルに屈折率上昇剤としてトリフェニルフォス

フェートを添加した比較例 3 では、伝送損失は 180 dB/km、曲げ損失は 2.8 dB であった。クラッド部も重合により作製した比較例 4 では、伝送損失は 150 dB/km、曲げ損失は 2.5 dB であった。モノマーであるメタクリル酸メチルに屈折率上昇剤としてオクタクロロメタクリル酸メチルを添加した比較例 5 では、伝送損失は 300 dB/km、曲げ損失は 3.0 dB であった。

【0120】以上のように、屈折率分布を得るためにモノマー自体の屈折率の差を利用する本発明のプラスチック光ファイバは、屈折率を変化させるドーパントを含むプラスチック光ファイバと比べて、同様の屈折率分布であっても、伝送損失及び曲げ損失の両面において優れていることが示された。

#### 【0121】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明のプラスチック光ファイバは、屈折率を変化させるドーパントを含まないホモポリマーから成るコアを備えるため、光散乱や可視光域での吸収がないために、伝送損失及び曲げ損失に優れている。

【0122】また、本発明のプラスチック光ファイバ母材の製造方法は、各層毎に 1 種類のモノマーを用いて、クラッド部の内側に屈折率を変化させながら、多層にコアを形成するため、階段状の G I 型の屈折率分布をもったプラスチック光ファイバ母材を容易に製造することが可能となる。そして、この母材を線引することによって、伝送帯域が広い、階段状の屈折率分布をもった G I 型プラスチック光ファイバを容易に製造することが可能となる。

【0123】従って、高速通信に用いることが可能な実用的なプラスチック光ファイバを提供することができ

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に好適に使用されるプラスチック光ファイバ母材製造装置の一例の斜視図である。

【図 2】本発明に好適に使用されるプラスチック光ファイバ母材製造装置の一例における重合部組立体の縦断面図である。

【図 3】実施例 1~8 及び比較例 1~5 における工程を表す、各工程毎のプラスチック光ファイバの斜視図である。

【図 4】階段状の屈折率分布を有するグレーデッドインデックス (G I) 型プラスチック光ファイバの屈折率分布を表すグラフである。

【図 5】 $\Delta n$  の大きな階段状の屈折率分布を有するグレーデッドインデックス (G I) 型プラスチック光ファイバの屈折率分布を表すグラフである。

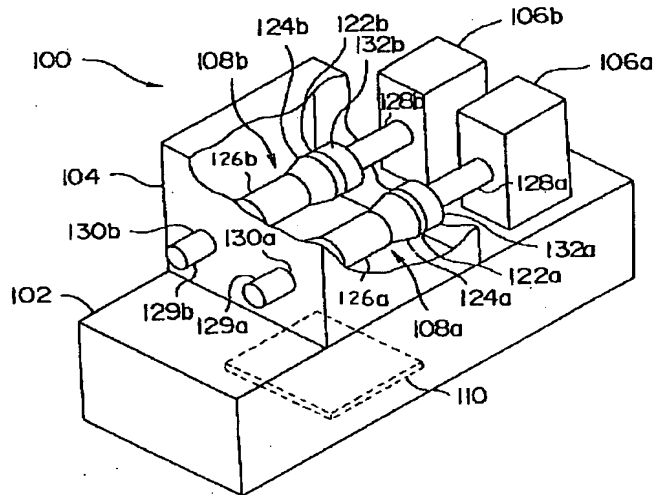
【図 6】ステップインデックス (S I) 型プラスチック光ファイバの屈折率分布を表すグラフである。

#### 【符号の説明】

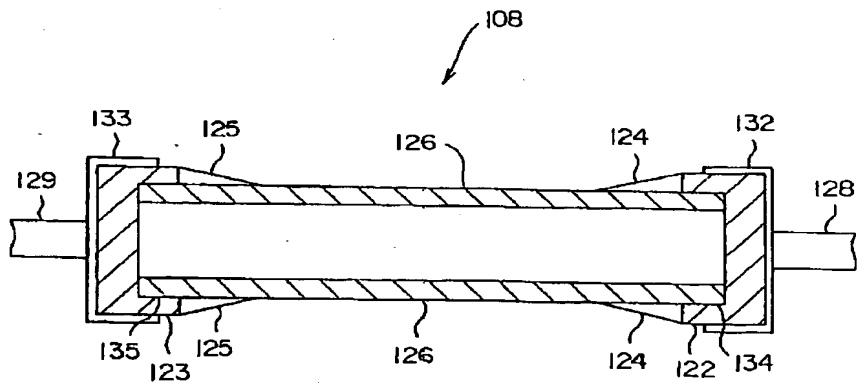
100…製造装置、102…台、104…モールド収容部、106a、b…モータ、108a、b…モールド組み立て体、110…ヒータ、122a、b、123…チャック、124a、b、125…カバー、126…母

材、128a、b、129a、b…軸、130a、b…軸受け、132a、b、133…支持円筒、134、135…窪み、302…クラッド部、304…コア第1層、306…コア。

【図1】

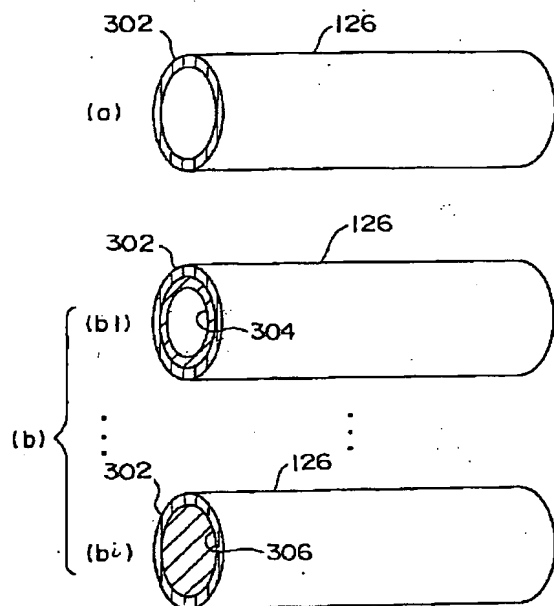


【図2】

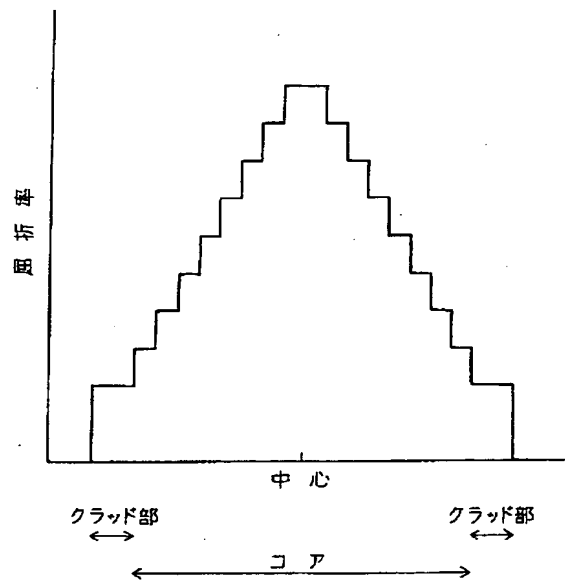




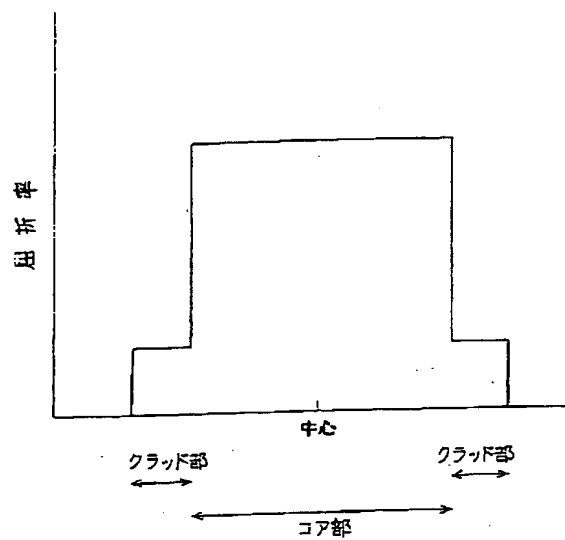
【図 3】



【図 4】



【図 6】



【図 5】

